

KARAKTERISASI KOMPONEN KENDALI SUHU TUNGKU SINTER PELET UO_2 ME-06

ACHMAD SUNTORO
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir - BATAN

ABSTRAK

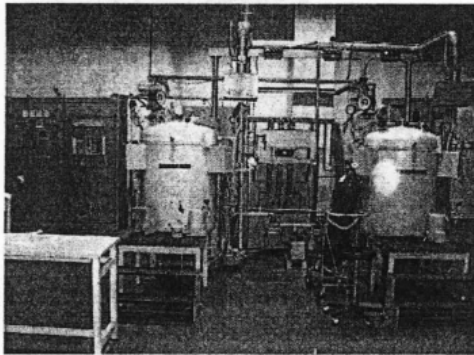
Telah dilakukan karakterisasi komponen kendali suhu tungku sinter pelet UO_2 ME-06 untuk tujuan pengendalian suhu dalam tungkunya. Persamaan matematis sistem autotrafo diturunkan dari pengukuran langsung dan karakteristik persamaan matematis tungku pemanas diturunkan dari pendekatan penyederhanaan sistem komponen. Hasil karakterisasi yang dilakukan telah digunakan sebagai pedoman awal oleh algoritma pengendali suhu tungku, dan terbukti pengendalian-nya dapat berjalan dengan baik sehingga sistem kendali suhu tungku tersebut dapat dikategorikan sangat presisi yaitu dengan kesalahan rata-rata dibawah 1%.

ABSTRACT

Characterization on temperature control components of the sintering furnace UO_2 pellet has been conducted for the furnace temperature controller purpose. Mathematical equation of the autotravo system is defined from experimental data of measurement while the furnace characteristics equation is derived from approximation and simplicity of furnace components system. The results of this characterization have been used by the furnace controller as a preliminary guidance in the controlling, and proved that the controller works perfectly right categorizing as a precision furnace system having the average error less than 1%.

Keywords: karakteristik-autotrafo, karakteristik-tungku, kendali-suhu-presisi

1. PENDAHULUAN



Gambar 1. Tungku Sinter Pelet UO_2 ME-06 dan Kendalinya.

Kendali suhu tungku sinter pelet UO_2 ME-06 yang ada di ruang HR-05 PTBN-BATAN, seperti yang terlihat pada Gambar 1, telah dimodifikasi^[1]. Sistem kendali suhu yang semula menggunakan teknologi analog telah dirubah dan disesuaikan dengan teknologi pengendalian saat ini dengan menggunakan teknik digital melalu

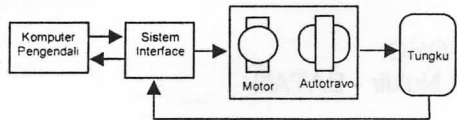
sebuah personal computer (PC) beserta rangkaian interfacenya. Algoritma program komputer pengendalian suhu tersebut menggunakan teknik tabulasi pengganti hysteresis^[2].

Makalah ini berisi karakterisasi komponen kendali suhu dari sistem tungku ketika proses modifikasi dilakukan, sehingga datanya telah digunakan dalam pengendalian suhu tersebut. Karakterisasi ini bersifat pendekatan yang disesuaikan dengan kebutuhan sistem kendali yang digunakan. Komponen kendali suhu yang dimaksud dalam makalah ini adalah komponen dalam sistem tungku yang dominan terlibat langsung dalam sistem pengendalian suhu tungku tersebut.

2. KOMPONEN KENDALI SUHU

Blok diagram pengendalian suhu sistem tungku diperlihatkan pada Gambar 2. Komponen kendali yang

akan ditentukan karakteristiknya adalah autotrafo beserta motor penggeraknya dan tungku pemanas sistem tungku.

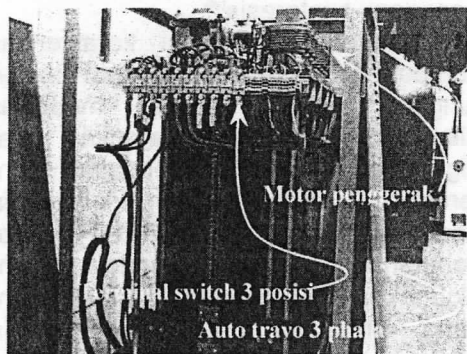


Gambar 2. Blok Diagram Sistem Kendali Tungku.

Dua komponen tersebut yang terlibat langsung dan menjadi obyek dalam pengendalian. Sistem interface hanyalah komponen power elektronik relay dan komponen konversi analog to digital.

2.1. SISTIM AUTOTRAFO

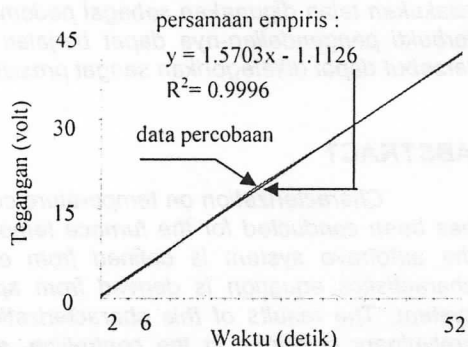
Sistem autotrafo terdiri dari sebuah autotrafo tiga fasa dan sebuah motor universal penggerak autotrafo seperti terlihat pada Gambar 3. Karakterisasi yang dilakukan tidak memisahkan antara motor dan autotrafo, tetapi menganggapnya sebagai satu komponen kendali, dimana inputnya waktu kontak terminal dan outputnya tegangan. Karakteristik ini yang memang diperlukan dalam modifikasi pengendalian suhu yang dilakukan.



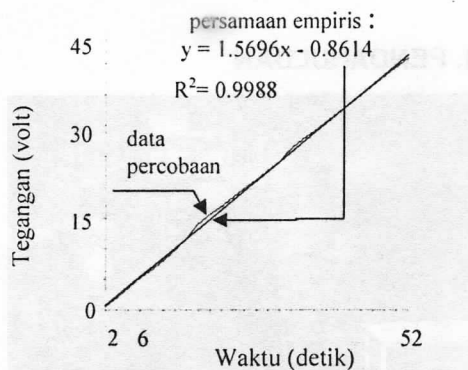
Gambar 3. Autotrafo dan motor penggeraknya.

Ada saklar tiga posisi yang digunakan untuk mengendalikan autotrafo dengan motor tersebut. POSISI-1, motor penggerak autotrafo berhenti berputar. Kondisi ini digunakan

untuk menjaga agar tegangan autotrafo tetap pada posisi terakhir nya. POSISI-2, motor bergerak sehingga tegangan autotrafo naik. POSISI-3, motor bergerak sehingga tegangan autotrafo turun. Dari saklar tiga posisi inilah semula *digitric* (pengendali lama dengan sistem analog) mengendalikan suhu dalam tungku sesuai dengan perintah yang diterimanya. Pengendalian tersebut dalam modifikasi diganti dan dilakukan oleh sebuah PC berikut sistem *interface*-nya^[1].



a. Data percobaan menaikkan tegangan outotrafo per 2 detik



b. Data percobaan menurunkan tegangan autotrafo per 2 detik

Gambar 4. Pengukuran karakteristik sistem autotrafo.

Waktu kontak dari saklar tiga posisi akan menentukan lama atau durasi motor berputar, yang berakibat menentukan besar dan kecil perubahan tegangan autotrafo yang terjadi. Untuk dapat mengendalikan suhu tungku, harus diketahui hubungan antara durasi kontak (waktu kontak) dengan

perubahan tegangan autotrafo yang terjadi. Oleh karena itu dilakukan pengukuran dan diambil durasi waktu 2 detik pada berbagai posisi secara urut dari autotrafo. Waktu dua detik diambil sesuai dengan disain pengendalian, dimana hanya diperbolehkan menaikkan atau menurunkan tegangan autotrafo dengan tahapan waktu durasi 2 detik, karena sistim tungku ini sangat lambat^[2].

Gambar 4 adalah hasil pengukuran atas percobaan yang dilakukan. Pengukuran dilakukan untuk posisi tegangan menaik dan menurun untuk melihat linieritas sistim autotrafo tersebut.

Pendekatan persamaan untuk konversi waktu kontak t_{on} atau Δt dalam detik terhadap perubahan tegangan autotravo ΔV dalam volt adalah sebagai berikut:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = 1.5703 \quad [1]$$

Pendekatan ini dibuat dari turunan atau diferensial persamaan garis hasil percobaan pada Gambar 4, dipilih untuk grafik posisi naik (keduanya sama).

Persamaan [1] merupakan hubungan antara lamanya kontak motor penggerak dan perubahan tegangan yang dihasilkan oleh sistim autotrafo. Karakteristik ini diperlukan mengingat sistim kendali modifikasi menggunakan teknik PWM (*Pulse Width Modulation*) dalam operasinya^[2].

2.2. TUNGKU PEMANAS

Tungku pemanas Degussa[™] digunakan sebagai obyek yang suhunya dikendalikan. Berikut adalah pendekatan persamaan matematis dari tungku. Banyak hal yang diabaikan dalam menentukan persamaan pendekatan matematis ini, karena persamaan tersebut hanya digunakan sebagai batasan langkah awal tindakan pengendalian, dan tidak untuk dasar dalam pengendalian. Sistem prediksi kendali akan merubah parameter yang

diperlukan ketika pengendalian berjalan^[2].

Persamaan pendekatan matematis yang ingin diperoleh adalah hubungan antara perubahan tegangan yang diberikan kepada tungku pemanas dan perubahan temperatur yang dihasilkan. Persamaan ini kemudian akan dikaitkan dengan persamaan [1] untuk memperoleh hubungan pendekatan antara waktu kontak saklar kendali dengan perubahan suhu yang dihasilkan dalam tungku.

2.2.1. KALOR JENIS TUNGKU

Tungku pemanas ME-06 berkapasitas maximum untuk 50 Kg U_3O_8 , dan filamen pemanas yang digunakan adalah Mo (molibdenum) dengan berat kurang lebih 10 Kg. Berat sesungguhnya dari filamen Mo tersebut tidak diketahui, angka yang digunakan disini dibuat dengan taksiran dari melihat bentuk fisik filamen tersebut. Dari tabel kalor jenis^[3] kedua bahan tersebut diketahui bahwa kalor jenis Mo = 1.065 Joule/Kg.^{°C} dan kalor jenis U_3O_8 = 0.033 Joule/Kg.^{°C}. Kalor jenis gabungan G antara 10 Kg. Mo (filamen pemanas) dan 50 Kg. U_3O_8 (materi yang disinter) adalah:

$$G = 0.17 \times 1.065 + 0.83 \times 0.033$$

$$G = 0.208 \text{ Joule/Kg.}^{\circ}\text{C}$$

Sesungguhnya bukan dua materi tersebut saja yang harus diperhitungkan, tetapi dalam pendekatan ini dua sudah cukup.

2.2.2. IMPEDANSI TUNGKU

Daya maximum tungku W adalah 80 KW pada tegangan $V = 45$ Volt. Sehingga nilai impedansinya dapat didekati dengan angka sebagai berikut:

$$Z = \frac{V^2}{W} = \frac{45^2}{80000} = 0.025 \Omega$$

Serupa pada perhitungan kalor jenis tungku, banyak hal yang diabaikan

dalam menentukan impedansi tungku tersebut, namun angka tersebut digunakan sebagai pendekatan oleh sistim kendali yang akan digunakan.

2.2.3. PERSAMAAN TUNGKU

Dari data kalor jenis gabungan dan impedansi tungku diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\Delta Q = m \cdot G \cdot \Delta T ; \quad \Delta T = \frac{\Delta Q}{m \cdot G}$$

$$\Delta T / \Delta t = \frac{\Delta Q / \Delta t}{m \cdot G} ; \quad T \approx \frac{\Delta W}{m \cdot G}$$

$$T \approx \frac{\Delta V^2}{m \cdot G \cdot Z} \approx \frac{\Delta V^2}{60 \times 0.208 \times 0.025}$$

$$T \approx \frac{\Delta V^2}{0.312}$$

$$\Delta V \approx \sqrt{0.312 \times T} \quad [2]$$

ΔV adalah perubahan tegangan pada filamen tungku, dan T adalah perubahan temperatur tungku perdetik. Dengan menggunakan persamaan [1] maka diperoleh:

$$t_m = 0.355 \sqrt{T} \quad [3]$$

t_m adalah waktu (lamanya) kontak saklar autotrafo menutup atau ON.

Persamaan [3] adalah karakteristik pendekatan hubungan antara waktu kontak kendali dengan suhu yang dihasilkan dalam tungku. Persamaan ini oleh sistim kendali yang digunakan untuk menentukan berapa lama kontak harus diaktifkan ON untuk suatu nilai kenaikan suhu dalam tungku yang diinginkan. Persamaan tersebut sebenarnya tidak tepat digunakan, karena satuan nilai T adalah derajat/detik, dan juga kenaikan suhu dalam tungku tidak sederhana seperti pada persamaan [3] tersebut, tetapi persamaan ini dipakai sebagai referensi awal pengendalian yang selanjutnya direvisi oleh algoritma kendali ketika pengendalian berjalan^[2].

3. HASIL UJI DAN PEMBAHASAN

Pengukuran 1. Suhu dinaikkan dengan laju kenaikan suhu 250° C/jam hingga 1000° C untuk kemudian ditahan selama 1 jam pada suhu 1000° C ini. Kemudian suhu tungku diturunkan hingga suhu kamar dengan laju penurunan 150° C/jam (Gambar 5.a).

Pengukuran 2: Suhu dinaikkan dengan laju kenaikan suhu 250° C/jam hingga 1650° C dan kemudian ditahan selama 2.5 jam pada suhu 1650° C ini. Kemudian suhu tungku diturunkan hingga suhu kamar dengan laju penurunan 150° C/jam (Gambar 5.b).

Gambar 5.c adalah nilai numerik yang diambil dari Gambar 5.a dan b sebagai ringkasan unjuk kerja sistim tungku dengan kendali suhu hasil modifikasi.

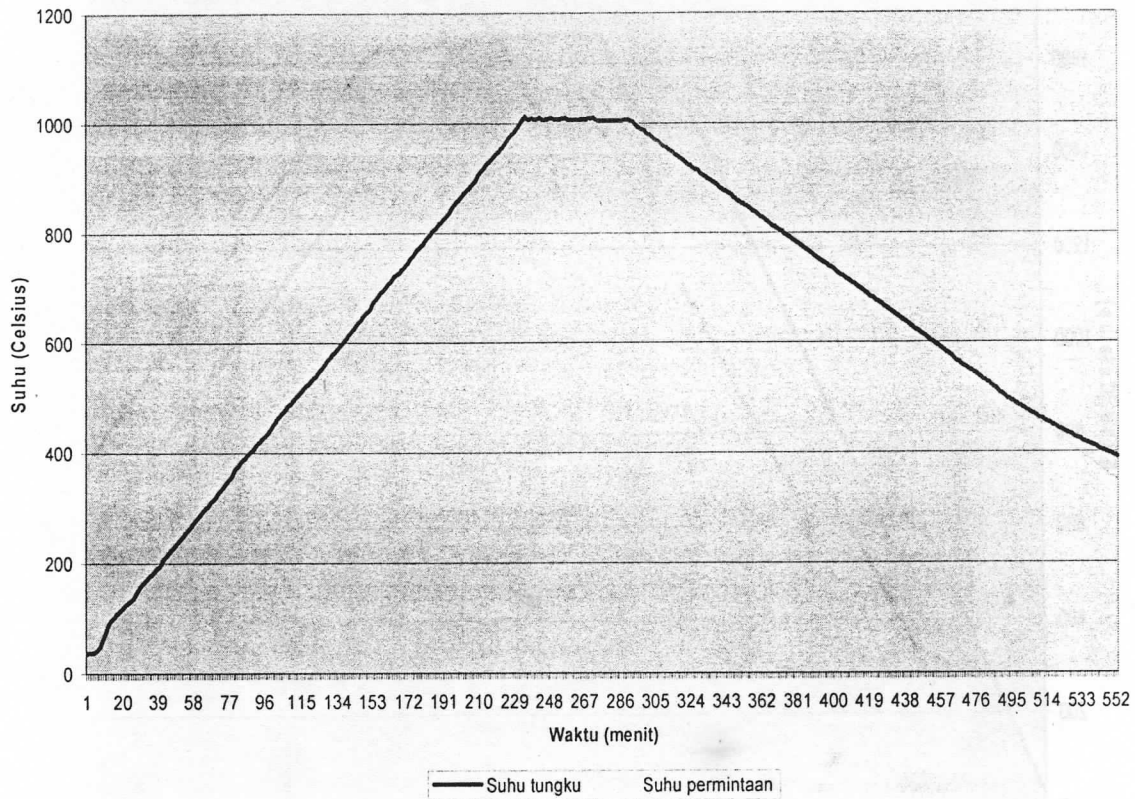
Pada pengukuran 2 terjadi dua tempat diskontinuitas penyinteran. Hal ini disebabkan oleh program penyinteran yang dihentikan sementara selama proses penyinteran berlangsung karena:

Diskontinuitas 1: Program dihentikan karena terjadi kerusakan pada termokopel tungku pada saat dioperasikan tersebut. Oleh karena itu program dihentikan untuk memberi kesempatan mengganti termokopel tungku. Penghentian terjadi selama ± 20 menit. Terjadi pada suhu 657° C.

Diskontinuitas 2: Program dihentikan karena terjadi kesalahan penentuan variabel pembatas dalam program pengendalian suhu untuk tujuan proteksi. Akibat kesalahan ini, pada tingkat suhu tertentu tidak bisa dinaikkan lagi, karena pembatas tersebut telah mencegah kenaikan tegangan autotrafo. Oleh karena itu program dihentikan untuk memberi kesempatan mengganti nilai variabel pembatas yang lebih tinggi. Penghentian terjadi selama ± 20 menit. Terjadi pada suhu 1450° C. Sebenarnya variabel pembatas ini tidak diperlukan didalam program kendali karena pembatas tegangan autotrafo telah ada pada autotrafo itu sendiri (rangkaihan hardware). Motor autotrafo tidak akan

mau diputar naik jika autotrafo telah mencapai nilai makimumnya. Proteksi

software dilaksanakan untuk tujuan redundancy keselamatan.



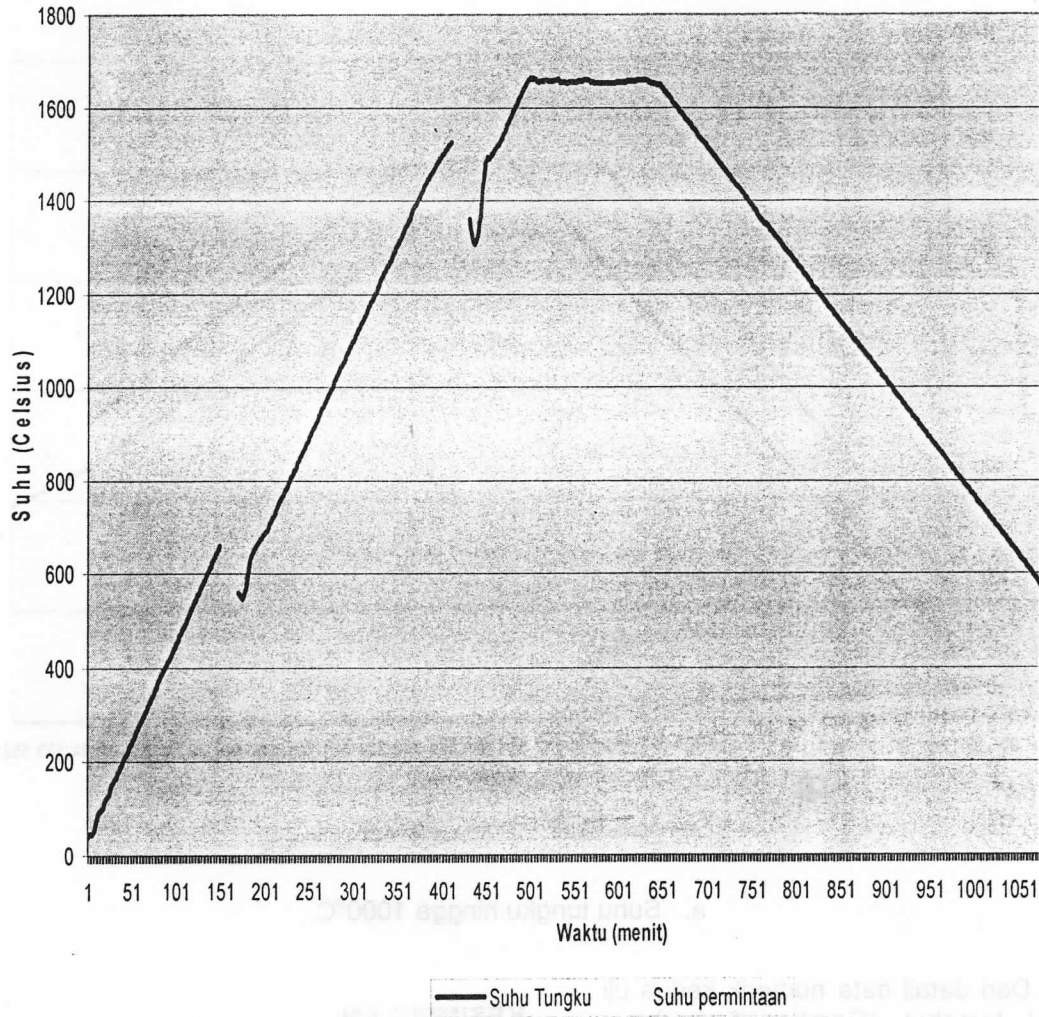
a. Suhu tungku hingga 1000°C.

Dari detail data numerik kedua uji fungsi tersebut (Gambar 5.c) dapat diketahui bahwa kesalahan rata-rata pengendalian antara pola suhu permintaan dan pola suhu dalam tungku lebih kecil dari 1%. Sehingga dapat dikatakan sistim kendali suhu hasil modifikasi mempunyai tingkat presisi yang tinggi. Itu berarti persamaan matematis pendekatan yang digunakan berhasil memberikan nilai sesuai dengan yang diperlukan oleh sistim kendali, meskipun persamaan pendekatan tersebut sebenarnya masih cukup jauh dari persamaan sesungguhnya. Kondisi pendekatan persamaan tersebut telah diantisipasi oleh algoritma pengendalian sehingga persamaan karakteristik pendekatan tersebut dapat digunakan dengan baik.

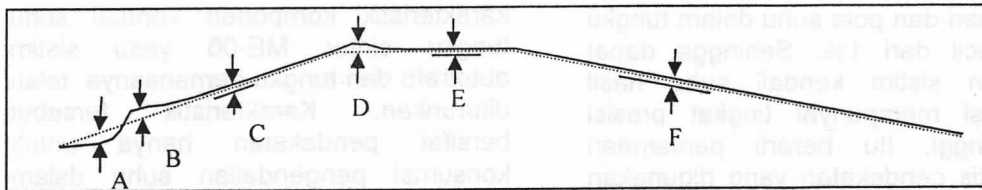
KESIMPULAN

Persamaan matematis karakteristik komponen kendali suhu tungku sinter ME-06 yaitu sistim autotrafo dan tungku pemanasnya telah diturunkan. Karakteristik tersebut bersifat pendekatan hanya untuk konsumsi pengendalian suhu dalam tungku tersebut yang menggunakan teknik tabulasi yang dikembangkan. Karakteristik tersebut terbukti dapat digunakan oleh algoritma kendali, dengan kesalahan rata-rata pengendalian dibawah 1%. Hasil uji unjuk kerja sistim tungku menunjukkan bahwa kendali suhu tungku tergolong presisi meskipun menggunakan persamaan karakteristik pendekatan ini.

Uji Fungsi Tungku Sinter-2 (29-5-2003)



b. Suhu tungku hingga 1650°C.



Suhu tungku hingga 1000°C:

- A: Kesalahan lembah naik 16° C.(start up)
- B: Kesalahan puncak naik 9° C. (start up)
- C: Kesalahan tunak naik rata-rata 2.66° C.

- D: Kesalahan puncak datar 12° C.
- E: Kesalahan tunak datar rata-rata 5.3° C.
- F: Kesalahan tunak turun rata-rata 3.02° C.

Suhu tungku hingga 1650°C:

- A: Kesalahan lembah naik 16° C.(start up)
- B: Kesalahan puncak naik 9° C. (start up)
- C: Kesalahan tunak naik rata-rata 4.1° C.

- D: Kesalahan puncak datar 12° C.
- E: Kesalahan tunak datar rata-rata 5.3° C
- F: Kesalahan tunak turun rata-rata 4.3° C.

c. Unjuk kerja sistim tungku

Gambar 5. Hasil pengukuran sistim tungku ME-06.

DAFTAR PUSTAKA

1. SUNTORO A. 2005. *Refurbishing Sistem Kendali Suhu Tungku Sinter Pelet UO_2* . Presiding PPI - PDIPTN 2005, Puslitbang Teknologi Maju - BATAN., Yogyakarta, 12 Juli 2005.
2. SUNTORO, A. 2005. *Pengganti Hysteresis pada Kendali Tungku Menggunakan Tabel Kebenaran*, Publikasi Ilmiah., Pertemuan dan Presentasi Ilmiah KIM, PPI-KIM LIPI.
3. PERRY R H dan CHILTON C H.. *1973 Chemical Engineers' Handbook.*, Fifth Edition, McGraw-Hill, Tokyo